

PANORAMAS SETORIAIS

Mudanças climáticas

QUÍMICA

Felipe dos Santos Pereira
Livia Tristão Savignon
Luciane Melo*

* Respectivamente, gerente e estagiária do Departamento de Indústria Química da Área de Insumos Básicos do BNDES e gerente do Departamento de Pesquisas e Operações da Área de Pesquisa e Acompanhamento Econômico do BNDES.

Introdução

O Brasil ocupou a sexta posição em faturamento na indústria química mundial em 2013, com o valor líquido de US\$ 156 bilhões, e, em termos nacionais, a participação do setor no Produto Interno Bruto (PIB) no mesmo ano foi de 2,8% (ABIQUIM, 2015). O crescimento do PIB esperado no médio e longo prazos deve gerar uma ampliação do segmento na economia.¹ Em 2012, a indústria química brasileira respondeu por 2,9% do total de energia consumida (EPE, 2015) e foi responsável por 4% dos gases de efeito estufa (GEE) emitidos nos processos industriais (BRASIL, 2014) no Brasil. No nível mundial, estima-se que a indústria química seja responsável por 7% das emissões de gases de efeito estufa e por 20% das emissões industriais desses gases (AIE, 2014).

Uma característica da indústria química é que ela é constituída por segmentos industriais bastante heterogêneos, que produzem diversos químicos por diferentes rotas tecnológicas. Apesar de serem sintetizados cerca de 70 mil produtos químicos, em termos de emissões de carbono, o processo de síntese de doze produtos² foi responsável por mais de 95% das emissões diretas de GEE no setor químico brasileiro em 2007 (ABDI, 2012). Em decorrência dessa característica da indústria química, os estudos que buscam avaliar as oportunidades de contribuição do setor para mitigação das emissões de GEE não focam em todo o conjunto de sua produção, mas em alguns produtos específicos.

A Fundação Getúlio Vargas (ABDI, 2012) estimou que 73% das emissões dos gases de efeito estufa na indústria química são resultantes da combustão para geração de energia térmica, 21% do processo industrial propriamente dito e 6% da geração e consumo de energia elétrica.³ O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (BRASIL, 2014) publicou a estimativa de emissão dos principais gases de efeito estufa para 2012. Os volumes totais de emissões de GEE referentes aos setores de energia e processos industriais são listados na Tabela 1.

De modo geral, no setor industrial, os gases de efeito estufa são emitidos nos processos produtivos e pelo consumo de energia. Na indústria química, especificamente, o dióxido de carbono (CO_2), por exemplo, é emitido como resultado de queima de combustíveis para fins de geração de energia térmica (geração de vapor, aquecimento de fornos e secagem de produtos). Já as emissões de metano (CH_4) e de óxido nitro-

¹ Para projeções de crescimento do setor utiliza-se uma elasticidade em relação ao PIB de 1,25, ou seja, a cada ponto de crescimento do PIB, espera-se um crescimento de 1,25 do consumo de produtos químicos (ABIQUIM, 2010).

² Amônia, ácido nítrico, ácido adípico, ácido fosfórico, carbureto de cálcio, metanol, eteno, dicloroetano e cloreto de vinila (MVC), acrilonitrila, coque de petróleo calcinado, negro de fumo e óxido de eteno.

³ Essa estimativa considera o segmento produtos químicos de uso industrial (PQI) de empresas associadas à Associação Brasileira da Indústria Química (Abiquim).

so (N_2O) são resultantes do processo de síntese química, que gera esses gases como subprodutos. Contudo, a maior parte das emissões de GEE na indústria química provém do consumo de energia térmica e elétrica (ABDI, 2012).

Tabela 1: Emissões de CO_2eq por gás em 2012

SETORES	GASES	tCO_2eq
Energia	CO_2	431,5
	CH_4	9,9
	N_2O	4,7
Processos industriais	CO_2	77,4
	CH_4	0,2
	N_2O	0,2
	Outros	7,5

Fonte: Brasil (2014).

Em 1992, a Associação Brasileira da Indústria Química (Abiquim) lançou o Programa Atuação Responsável, que incentiva a implantação de melhorias ambientais, entre as quais a redução de emissões e a publicação de indicadores de desempenho. Atualmente, está tornando-se cada vez mais usual a realização de inventários para quantificar as emissões de GEE. Esses inventários são de grande relevância quando são propostas ações de redução das emissões de GEE, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Em geral, as grandes empresas do setor apresentam esses inventários de carbono nos seus relatórios anuais, como pode ser observado na Tabela 2, a seguir. Além disso, muitas delas são associadas a programas voluntários que objetivam estimular, por meio de premiações, a prática de gestão de carbono, como: o Programa Brasileiro Greenhouse Gas Protocol, que busca estimular a cultura corporativa para a elaboração e publicação de inventários de emissões de gases de efeito estufa, e o Carbon Disclosure Project (CDP), organização internacional sem fins lucrativos que fornece um sistema global de divulgação de indicadores ambientais.

Tabela 2: Resultados de inventários selecionados

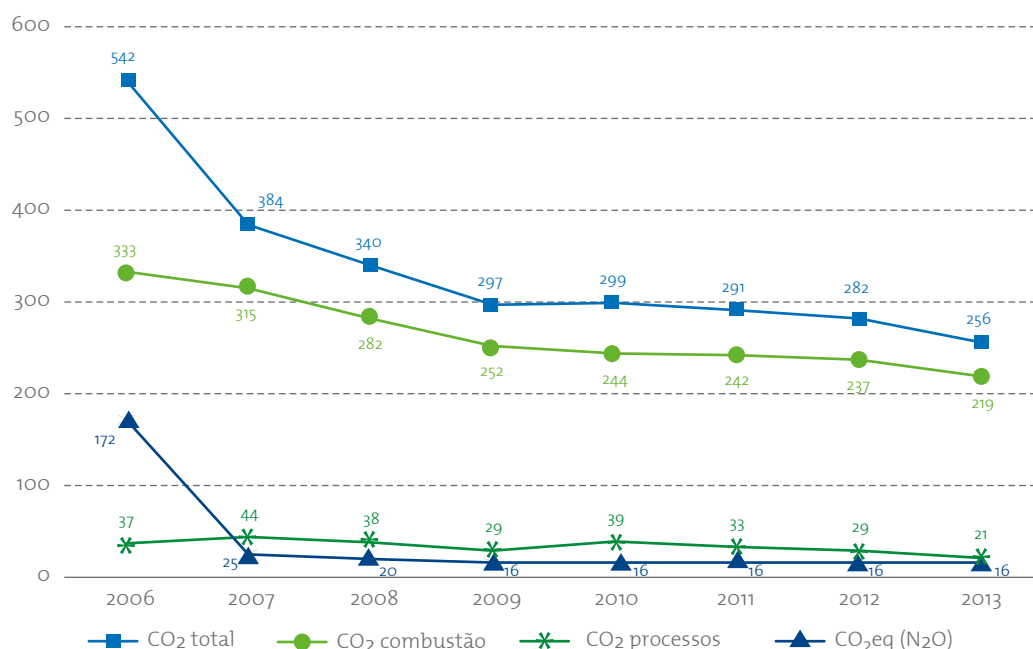
EMPRESAS	$\text{tCO}_2\text{eq/t}$ PRODUTO COMERCIALIZÁVEL
Braskem	0,63
Elekeiroz	0,189
Oxiteno	0,72

Fonte: Elaboração própria, com base em Braskem (2014), Elekeiroz (2014) e Ultra (2013).

Pode-se observar que os esforços realizados pelas empresas do setor têm gerado uma redução nas emissões, visto o Gráfico 1 publicado pela Abiquim em *Histórico de Desempenho: Programa de Atuação Responsável*, com informações sobre intensidade de emissão de dióxido de carbono equivalente (ABIQUIM, 2014).

É possível verificar uma forte redução da intensidade de emissão de CO₂ total entre os anos de 2006 e 2007. Essa diminuição, proveniente do decréscimo da parcela das emissões de N₂O, foi devida à instalação de sistemas de conversão do óxido nitroso em nitrogênio (gás inerte e que não contribui para o efeito estufa) gerado em unidades fabris que emitem esse efluente gasoso. Tais iniciativas foram realizadas no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), criado com o objetivo de financiar projetos que promovessem uma redução das emissões de gases de efeito estufa.⁴

Gráfico 1: Intensidade de emissão de dióxido de carbono equivalente (em kgCO₂eq/t produto)



Fonte: Abiquim (2014).

Iniciativas para mitigação das emissões de gases de efeito estufa

Os Quadros 1 e 2 reproduzem as principais medidas de mitigação identificadas pela Fundação Getúlio Vargas para a indústria química. Como esperado, diversas medidas de mitigação estão relacionadas à geração e consumo de energia, térmica e elétrica, mas, além disso, merecem destaque as possibilidades resultantes da substituição de matérias-primas por fontes renováveis (ABDI, 2012).

⁴ O MDL é um mecanismo estabelecido pelo Protocolo de Quioto segundo o qual países em desenvolvimento implementam projetos que reduzem as emissões de gases de efeito estufa, gerando Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), que podem ser utilizadas pelos países desenvolvidos para cumprir seus compromissos de redução de emissões. Para informações sobre MDL no Brasil, ver Brasil (2014).

Quadro 1: Medidas de mitigação na geração e consumo de energia (térmica e elétrica)

PROCESSO	MEDIDA DE MITIGAÇÃO	VIABILIDADE	BARREIRAS
Diversos	Uso de fontes renováveis de energia (biomassa – etanol, bagaço da cana de açúcar, resíduos de celulose, floresta plantada, outros) na matriz energética.	Média	Disponibilidade de biomassa, custo de transporte. Exigências ambientais.
	Uso de lixo plástico do resíduo urbano como fonte de carbono para finalidades térmicas e geração própria de energia elétrica.	Baixa	Disponibilidade de lixo em qualidade e quantidade e logística. Necessidade do uso de tecnologias de controle de emissão de dioxinas e furanos.
	Substituição de óleo combustível por gás natural.	Alta	Disponibilidade de gás natural a preços competitivos.
	Utilização de 100% da capacidade instalada de produção operando os equipamentos térmicos e mecânicos na capacidade nominal.	Alta	Competição com os produtos importados.
	Economia de energia nas instalações existentes (melhorias em processos, retirada de “gargalos”, aumento da eficiência em fornos, caldeiras e fornalhas).	Alta	Custos elevados para adaptação das instalações, com tempo de retorno do investimento incompatível.
Geração própria	Investimentos em fontes alternativas de energia (eólica e solar).	Baixa	Custos elevados. Foco no negócio químico.
	Investimentos em cogeração.	Alta	Custos elevados para adaptação das instalações, com tempo de retorno do investimento incompatível.

Fonte: ABDI (2012).

Quadro 2: Medidas de mitigação por meio de substituição de matérias-primas

PROCESSO	MEDIDA DE MITIGAÇÃO	VIABILIDADE	BARREIRAS
Amônia	Uso de fontes renováveis de matéria-prima (etanol de primeira e segunda gerações) na produção de amônia.	Alta	Disponibilidade e custo de matéria-prima.
Eteno	Uso de fontes renováveis de matéria-prima (etanol de primeira e segunda gerações) na produção de polietileno.	Alta	Já em produção, sujeita somente à disponibilidade de matéria-prima.
Propeno	Uso de fontes renováveis de matéria-prima (etanol de primeira e segunda gerações) na produção de polipropileno.	Média	Investimento alto, disponibilidade e custo de matéria-prima.
Metanol	Uso de fontes renováveis de matéria-prima (etanol de primeira e segunda gerações) na produção de metanol.	Alta	Disponibilidade e custo de matéria-prima.
Éter etil-terc-butílico (ETBE)	Uso de fontes renováveis de matéria-prima (etanol de primeira e segunda gerações) na produção de ETBE.	Alta	Já em produção, sujeita somente à disponibilidade de matéria-prima.
Diversos	Introdução de álcool de segunda geração e outros produtos (biorrefinarias).	Alta	Tecnologia, disponibilidade e custo de transporte de matéria-prima.
	Uso de lixo urbano como fonte de carbono para matérias-primas.	Média	Disponibilidade de lixo em qualidade e quantidade e logística.
	Uso de dióxido de carbono como matéria-prima.	Média	Disponibilidade e logística.
	Uso de glicerina derivada de produção de biodiesel de ácidos graxos.	Baixa	Tecnologia, disponibilidade e qualidade da matéria-prima, custo de transporte e logística.

Fonte: ABDI (2012).

No que diz respeito às medidas de mitigação associadas à geração e consumo de energia, observa-se que elas conferem oportunidades marginais de ganho de desempenho, visto que, em geral, as empresas do setor já apresentam níveis otimizados no uso energético.

Uma avaliação da Agência Internacional de Energia (AIE) sobre o potencial de redução do consumo de energia de produtos químicos e petroquímicos em diversos países por meio da adoção de *best practice technologies* (BPT), ou seja, das tecnologias mais avançadas disponíveis para uso em escala industrial, mostra o Brasil como um país com pouco potencial para redução do consumo, atrás apenas do Canadá (AIE, 2014). Essa avaliação confirma, portanto, o limitado espaço para redução de emissões por meio de medidas de eficiência energética.

Acredita-se que a substituição de matérias-primas seja a principal oportunidade da indústria química brasileira. O maior projeto desse tipo em nível mundial está em operação no Brasil, onde a Braskem opera a primeira planta de etanol em escala industrial, baseada em cana-de-açúcar, para produção de polietileno, com capacidade de produção de 200 kt/ano (BAIN & COMPANY, 2014; AIE, 2014).

A produção de químicos com base em biomassa é considerada uma tecnologia emergente, e verifica-se que há diversos projetos sendo desenvolvidos paralelamente com diferentes propostas de rotas tecnológicas (BAIN & COMPANY, 2014). As alternativas, contudo, vão muito além das mencionadas no Quadro 2, pois a trajetória tecnológica de mudança de matéria-prima apresenta possibilidades mais amplas que a adoção do etanol como insumo, conforme enfoque dado no quadro mencionado.

A transição de matéria-prima fóssil para fontes renováveis pode ser feita usando-se novas ferramentas de biotecnologia para conversão de açúcares e outros derivados da biomassa diretamente em moléculas químicas de maior utilidade que o próprio etanol. Essa oportunidade, no entanto, ainda requer aprimoramento tecnológico e de desenvolvimento de aplicações para as novas moléculas provenientes da biorrefinaria, criando novas cadeias a partir delas. Com esses avanços, tais moléculas seriam candidatas a novas “plataformas químicas”,⁵ substituindo os atuais intermediários químicos da cadeia petroquímica: amônia, eteno, propeno, metanol e o próprio etanol (BAIN & COMPANY, 2014).

Exemplos dessa tendência são o farneseno e o ácido succínico, intermediários capazes de serem convertidos em diversos produtos, substituindo derivados de petróleo em uma vasta gama de cadeias a jusante, como: cosméticos, aditivos alimentícios, lubrificantes, espumas para estofados e construção civil.

⁵ Plataformas químicas são intermediários químicos capazes de dar origem a uma ampla gama de derivados com usos finais diversos a partir de transformações físicas e químicas.

A utilização de matérias-primas renováveis permite tanto a produção de compostos químicos análogos aos produzidos atualmente (*drop-in*) quanto a síntese de novos compostos (não *drop-in*) com potencial para substituir os produtos já existentes. Para os compostos análogos, não há necessidade de realizar qualquer modificação na utilização dos produtos. Para os novos compostos, é necessário não apenas desenvolver um novo processo e comprovar a viabilidade da produção em larga escala, mas também desenvolver suas aplicações (BAIN & COMPANY, 2014).

Outra oportunidade que, embora não seja citada nos Quadros 1 e 2, pode ser aplicada na indústria química é o uso de tecnologias de captura e armazenamento de carbono (do inglês *carbon capture and storage* – CCS) para abatimento do CO₂ emitido nas correntes industriais de exaustão. Projetos nesse sentido já se encontram em fase adiantada de desenvolvimento, especialmente na Europa. Se implementada com sucesso, essa seria uma alternativa de elevado impacto potencial em termos de redução das emissões de GEE na atmosfera. Apesar de seu custo ser elevado e de envolver desafios na questão do transporte e armazenamento, há potencial para aplicação em determinados processos químicos em que a concentração de gás carbônico é elevada. Quanto mais elevada a concentração de CO₂, mais eficiente é a aplicação de um processo de captura e armazenamento. Há carência, no entanto, de regulação que incentive a adoção desse tipo de tecnologia no país, como é feito por meio do *European Union Emissions Trading System* (EU ETS) na Europa.

Perspectivas futuras das emissões de gases de efeito estufa no setor químico

Entre as principais alternativas identificadas para redução da intensidade de emissões da indústria química, destaca-se a substituição por matérias-primas renováveis na produção de substâncias químicas.

Além do uso do etanol como insumo, destaca-se ainda a utilização de ferramentas de biotecnologia para conversão de açúcares e outros derivados da biomassa diretamente em moléculas químicas, como o farneseno e o ácido succínico, que poderiam substituir os atuais intermediários da cadeia petroquímica.

Os maiores desafios dessa alternativa consistem, principalmente: (i) no custo de coleta, transporte, estocagem e tratamento da matéria-prima em escalas economicamente viáveis para o setor; (ii) no desenvolvimento de tecnologias de processo para a conversão da biomassa em intermediários químicos; e (iii) na adoção desses intermediários pelos segmentos industriais a jusante, o que envolve esforço de desenvolvimento de aplicações.

Referências

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. *Subsídios para a elaboração de uma estratégia industrial brasileira para a economia de baixo carbono: caderno 4: nota técnica química*. São Paulo, 2012.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA – AIE. *Roadmap de tecnologia reduções de energia e de GEE na indústria química via processos catalíticos*. São Paulo, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA – ABIQUIM. *Histórico de desempenho: programa de atuação responsável 2013*. São Paulo, 2014.

_____. *O desempenho da indústria química brasileira em 2014*. São Paulo, 2015.

_____. *Pacto nacional da indústria química*. São Paulo, 2010.

BAIN & COMPANY. *Potencial de diversificação da indústria química brasileira: relatório 4 químicos com base em fontes renováveis*. São Paulo, 2014.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa Brasil*. 2.ed. Brasília, 2014.

BRASKEM. *Relatório anual 2014*. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <<http://www.braskem-ri.com.br/download/RI/20943>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

ELEKEIROZ. *Relatório anual de sustentabilidade 2014*. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.elekeiroz.com.br/PT/investidores/Relatorio%20Anual%20de%20Sustentabilidade/Elekeiroz%20-%20Relat%C3%B3rio%20Anual%20de%20Sustentabilidade%202014.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Balanço energético nacional 2015: anobase 2014*. Rio de Janeiro, 2015.

ULTRA. *Relatório anual 2013*. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.ultra.com.br/Ultra/relatorio/2013/br/doc/UltraparRA2013.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2015.